

УСТАНОВКА ДЛЯ СНЯТИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. И. ЗАЙЦЕВ, М. П. ТАБИНСКИЙ, А. С. БОБРОВСКИЙ

В работах Е. А. Казовского [1], В. А. Глебова [2], Л. П. Петрова [3, 4] и других авторов показано, что для точного расчета электромеханических переходных процессов асинхронных двигателей необходимо пользоваться динамическими механическими характеристиками. Эти характеристики в технической справочной литературе отсутствуют, поэтому приходится определять их для каждого отдельного случая экспериментальным путем. Ниже дается описание простой установки для снятия динамических механических характеристик двигателя.

Блок-схема установки изображена на рис. 1. Исследуемый двигатель АД соединяется с асинхронным тахогенератором ТГ. В качестве тахогенератора используется двухфазный двигатель с полым немагнитным ротором (двигатель Феррариса) типа ЭМ-8. На первичную

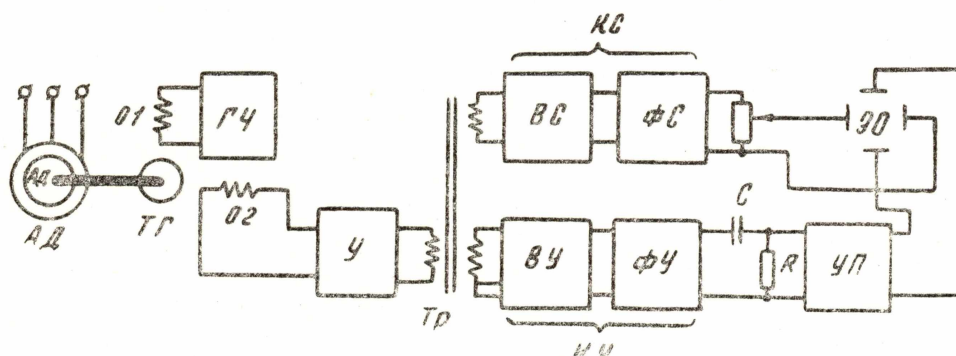


Рис. 1.

обмотку тахогенератора 01 подается синусоидальное напряжение при частоте $1000 \div 1500$ гц, напряжением около 5 в. Во вторичной обмотке 02 наводится переменная э. д. с., по величине пропорциональная скорости вращения двигателя, частота которой равна частоте приложенного к первичной обмотке напряжения, а фаза зависит от скорости и направления вращения ротора тахогенератора. При помощи электронного усилителя У эта э. д. с. усиливается по напряжению и по

мощности. С выходного трансформатора Тр усиленное напряжение поступает в канал скорости КС и канал ускорения КУ, где оно выпрямляется при помощи диодных мостов ВС и ВУ и сглаживается фильтрами низкой частоты ФС и ФУ. Выпрямленное напряжение в канале скорости снимается с потенциометра и подается на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевого осциллографа ЭО. Выпрямленное в канале ускорения напряжение поступает на дифференцирующую цепочку R—C. На сопротивлении R выделяется напряжение, пропорциональное ускорению двигателя, которое усиливается усилителем постоянного тока УП и подается на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевого осциллографа.

При пуске или торможении испытуемого двигателя АД на экране осциллографа электронный луч описывает кривую, изображающую зависимость скорости от ускорения двигателя $\omega = f\left(\frac{d\omega}{dt}\right)$.

На основании теоремы Д'Аламбера, угловое ускорение при вращении тела равно сумме моментов двигающих сил относительно оси вращения, разделенной на момент инерции относительно той же оси

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{дв}} - M_{\text{ст}}}{J_{\text{дв}}}, \quad (1)$$

где $J_{\text{дв}}$ — момент инерции двигателя, кг м сек^2 ;

$M_{\text{дв}}$ — момент двигателя, кг м ;

$M_{\text{ст}}$ — момент статического сопротивления, кг м ;

$\frac{d\omega}{dt}$ — угловое ускорение, $\frac{1}{\text{сек}^2}$.

При пуске или торможении двигателя без нагрузки моментом статического сопротивления можем пренебречь. В этом случае, исходя из формулы (1), момент двигателя равен

$$M_{\text{дв}} \approx J_{\text{дв}} \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

Таким образом, момент двигателя пропорционален угловому ускорению, причем $J_{\text{дв}}$ является коэффициентом пропорциональности. Следовательно, от графического изображения зависимости $\omega = f\left(\frac{d\omega}{dt}\right)$

легко перейти к зависимости $\omega = \varphi(M_{\text{дв}})$, то есть к механической характеристике двигателя, для чего необходимо масштаб ускорения $\frac{d\omega}{dt}$ умножить на постоянную

величину момента инерции $J_{\text{дв}}$.

Выясним, с какой точностью определяется угловое ускорение двигателя при дифференцировании напряжения, пропорционального скорости. Для этого рассмотрим электрический контур, состоящий из емкости C и сопротивления R (рис. 2). Приложенное к контуру напряжение $U_{\text{вх}}$ равно

$$U_{\text{вх}} = U_C + U_{\text{вых}}. \quad (3)$$

Продифференцируя равенство (3), получим

$$\frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} = \frac{dU_c}{dt} + \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt}. \quad (4)$$

Падение напряжения на сопротивлении R равно

$$U_{\text{ВЫХ}} = iR = RC \frac{dU_c}{dt}. \quad (5)$$

Отсюда

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{RC}. \quad (6)$$

Подставив (6) в формулу (4), получим

$$\frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{RC} + \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt},$$

или

$$RC \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} + U_{\text{ВЫХ}} = RC \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}. \quad (7)$$

Когда входное напряжение $U_{\text{ВХ}}$ изменяется по линейному закону во времени, то есть

$$U_{\text{ВХ}} = \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} \cdot t,$$

то точное решение уравнения (7) имеет вид

$$U_{\text{ВЫХ}} = RC \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (8)$$

Из этого выражения видно, что теоретически выходное напряжение достигает установившегося значения

$$U_{\text{ВЫХ}} = RC \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}$$

через бесконечно большое время. Но если допустить небольшую погрешность при определении $U_{\text{ВЫХ}}$, например в 2%, то практически выходное напряжение достигает установившегося значения уже по истечении времени, равного

$$t = 4RC.$$

Из анализа осциллограмм электромеханических переходных процессов установлено, что в течение времени $t = 0,002$ сек скорость двигателя можно считать изменяющейся по линейному закону [2], [3]. Поэтому постоянная времени дифференцирующей цепочки должна быть не больше

$$RC \leq \frac{t}{4} = \frac{0,002}{4} = 0,0005 \text{ сек.}$$

При емкости $C = 0,5$ мкф выходное сопротивление должно быть равно

$$R = \frac{0,0005}{0,5} \cdot 10^6 = 1000 \text{ ом.}$$

Для определения абсолютного значения ускорения по отклонению

луча на экране осциллографа необходимо знать масштаб ускорения. Его можно определить несколькими способами.

1 способ. На вход дифференцирующей цепочки подается синусоидальное напряжение с известной амплитудой и частотой

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{м}} \sin(\omega t + \varphi).$$

На выходе дифференцирующей цепочки напряжение пропорционально производной по входному сигналу (с некоторой ошибкой, присущей дифференцирующей цепочке)

$$U_{\text{вых}} = RC \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} = RC \cdot U_{\text{м}} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi).$$

Максимальное отклонение луча осциллографа пропорционально максимальному значению производной

$$\left(\frac{dU_{\text{вх}}}{dt} \right)_{\text{макс}} \equiv U_{\text{м}} \cdot \omega.$$

Обозначим это отклонение буквой x .

Масштаб находится из отношения

$$\frac{U_{\text{м}} \cdot \omega}{x} = \frac{v}{\text{сек} \cdot \text{мм}}. \quad (9)$$

При снятии механической характеристики входное напряжение меняется пропорционально скорости двигателя

$$U_{\text{вх}} = k \cdot n_{\text{дв}},$$

где $k = \frac{U_0}{n_0}$ — скоростной коэффициент тахогенератора и усилителя, равный отношению напряжения на выходе фильтра при скорости холостого хода к этой скорости.

Следовательно, масштаб ускорения равен

$$\frac{v_{dn}}{dt} = \frac{v_{dU}}{dt} \cdot k = \frac{U_{\text{м}} \cdot \omega \cdot n_0}{x \cdot U_0}, \frac{\text{об}}{\text{мин} \cdot \text{сек} \cdot \text{мм}}. \quad (10)$$

2 способ. На вал тахогенератора ТГ (рис. 3) насаживается небольшой шкив с радиусом R , на который наматывается несколько витков шнура. К шнуру прикрепляют груз G , которому дают свободно опускаться. Трением в подшипниках тахогенератора в виду малости можно пренебречь.

По теореме Д'Аламбера действующие силы на материальную систему и силы инерции равны

$$R \left(G - \frac{G}{g} \cdot a \right) = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (11)$$

где J — момент инерции ротора тахогенератора и шкива, $\text{кгм} \cdot \text{сек}^2$;

a — ускорение поступательно движущегося груза G , $\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$,

$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$ — ускорение свободного падения.

Используем связь между угловым и линейным ускорением

$$a = R \frac{d\omega}{dt}. \quad (12)$$

Подставив 12 в 11, после ряда преобразований получим

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{G}{\frac{J}{R} + \frac{RG}{g}} \quad (13)$$

или

$$\frac{dn}{dt} = \frac{30 G}{\pi \left(\frac{J}{R} + \frac{RG}{g} \right)}. \quad (14)$$

Измерив на экране осциллографа отклонение луча x в мм, соответствующее этому ускорению, находим масштаб ускорения

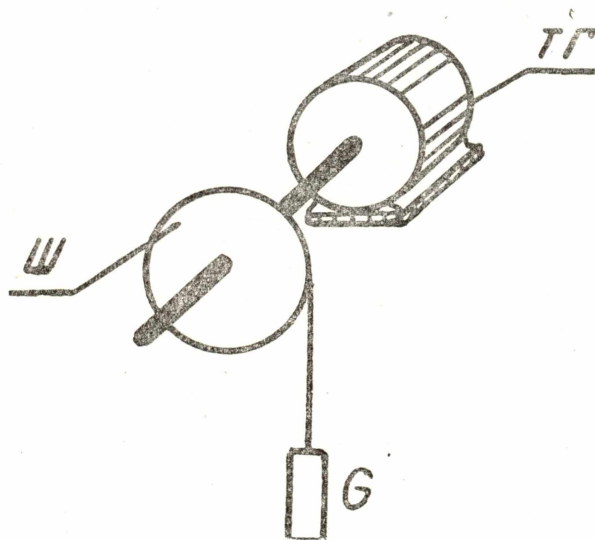


Рис. 3.

$$\frac{dn}{dt} = \frac{30 G}{\pi \left(\frac{J}{R} + \frac{RG}{g} \right)} \cdot \frac{об}{мин \cdot сек \cdot мм} \cdot x. \quad (15)$$

Момент двигателя, соответствующий отклонению x_i электронного луча по оси ускорений при снятии механической характеристики, находится по формуле

$$M_{дв} = \frac{J_{дв} \pi}{30} x_i \frac{dn}{dt}. \quad (16)$$

Выводы

Описанная установка позволяет снимать с достаточной точностью динамические механические характеристики асинхронного двигателя. В отличие от других установок [2], [3], [4] она проста в изготовлении и собирается из легко доступных материалов.

Механические характеристики наблюдаются непосредственно на экране осциллографа и легко могут быть сфотографированы обычным фотоаппаратом. Для облегчения визуального наблюдения рекомендуется применять в осциллографе электронно-лучевую трубку с после-свечением.

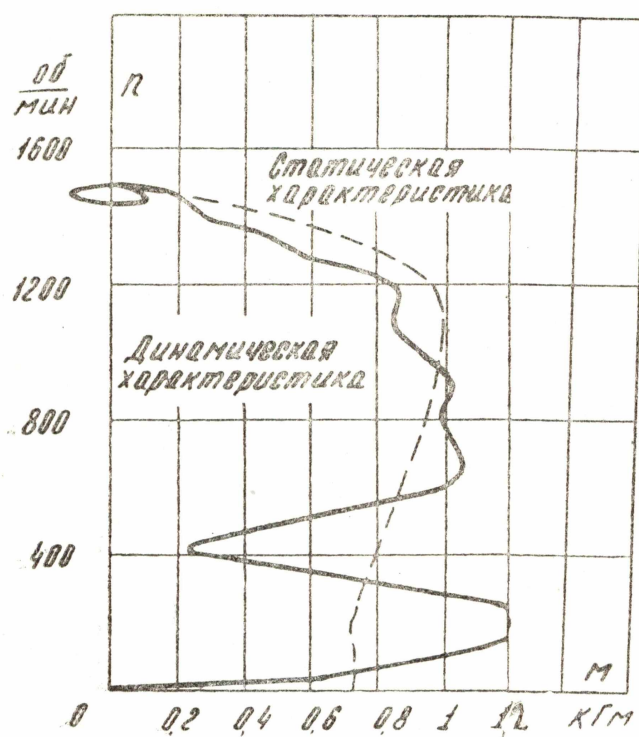


Рис. 4.

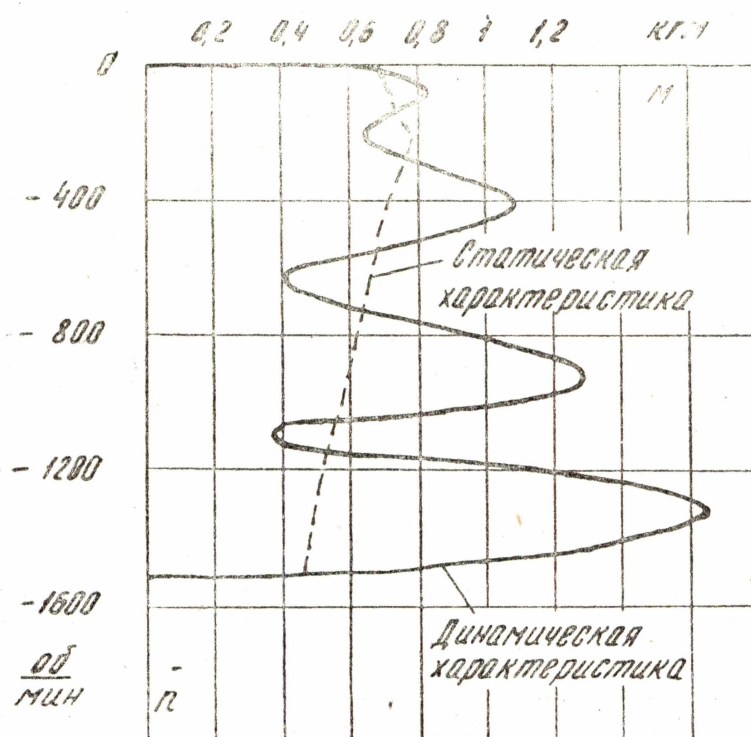


Рис. 5.

На рис. 4, 5 и 6 приводятся динамические механические характеристики двигателя А 31-4: для двигательного режима (рис. 4), режима противовключения (рис. 5) и динамического торможения (рис. 6). На рисунках для сравнения приводятся статические механические характеристики этого же двигателя, снятые на аналогичной установке, но с применением механического дифференциала, который необходим для распределения механических характеристик различных режимов по соответствующим квадрантам. Добавочный маховик увеличивает длительность механических переходных процессов двигателя, благодаря чему механическая характеристика приближается к статической.

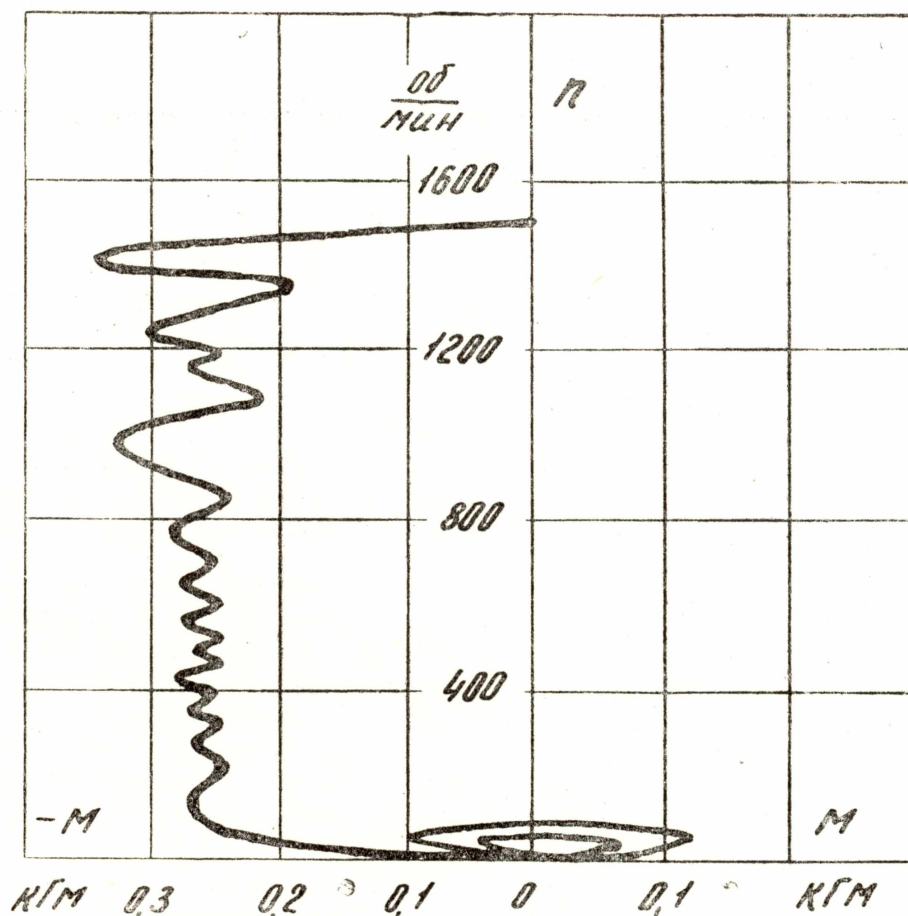


Рис. 6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Я. Казовский. Некоторые вопросы переходных процессов в машинах переменного тока. Госэнергоиздат, 1953.
2. В. А. Глебов. Экспериментальное исследование пусковых процессов асинхронных двигателей. Электричество, № 12, 1956.
3. Л. П. Петров. Динамические характеристики асинхронных короткозамкнутых двигателей. ВЭП, № 5, 1959.
4. Л. П. Петров. Новые методы экспериментального исследования механических характеристик асинхронных двигателей. Научные записки Одесского политехнического института, 1958, т. XVII.

Поступила в редакцию
в июне 1962 г.